



Påverkan av beståndsförnygringen på markberedningsresultatet vid högläggning och harvning i Norrbotten.

---

*The impact of naturally regenerated stems on site preparation results during disc trenching and mounding in Norrbotten, Sweden.*

Jacob Sundström



Examensarbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2021:12

Umeå 2021



# Påverkan av beståndsförnygringen på markberedningsresultatet vid högläggning och harvning i Norrbotten

*The impact of naturally regenerated stems on site preparation results  
during disc trenching and mounding in Norrbotten, Sweden.*

Jacob Sundström

**Handledare:** Back Tomas Ersson, bitr, universitetslektor, SLU Skogsmästarskolan  
**Bitr. handledare:** Leif Johansson, Skogsvårdsspecialist SCA.  
**Examinator:** Tomas Nordfjell, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi,  
Sveriges lantbruksuniversitet

**Omfattning:** 30 hp  
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A2E  
**Kurstitel:** Mastersarbete i skogskunskap  
**Kurskod:** EX0956  
**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet  
**Kursansvarig inst.:**

**Utgivningsort:** Umeå  
**Utgivningsår:** 2021  
**Omslagsbild:** Jacob Sundström  
**Serietitel:** Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2021:2  
**Delnummer i serien:** 2021:2

**Nyckelord:** Markbehandling, underväxtröjning, markberedningspunkt,  
planteringspunkt, hyggesrensning, underväxt, terräng.

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

## Sammanfattning

I Sverige är maskinell markberedning den dominerande skogsvårdsåtgärden efter avverkning. Markberedning är en bearbetning av marken som görs för att skapa en gynnsam växtplats för kommande föryngring. Kvaliteten på utförd markberedning har en betydande inverkan på hur kommande föryngring blir, hinder och försvårande faktorer kan påverka resultatet. Det är tidigare känt att faktorerna blockkvot, trädrester och stubbar har störst inverkan på markberedningsresultatet, men studier av hur antalet underväxtstammar påverkar markberedningsresultatet saknas.

Syftet med denna studie var att göra en fördjupning om beståndsföryngringens antal och storlek har någon påverkan på markberedningsresultatet.

Studien utfördes under barmarksperioden 2020 och omfattade både harvning och högläggning på totalt sex trakter på SCAs marker i Norrbotten. Fältförsöket bestod av två inventeringstillfällen, före och efter markberedning. Före markberedning samlades data in om beståndsföryngringen och provytans terrägegenskaper. Efter markberedning utfördes en kvalitetsuppföljning av markberedningspunkterna inom provytorna. Därefter utfördes analyser över beståndsföryngringens påverkan på markberedningsresultatet, samt nuvärdesanalyser med Heureka.

Resultatet av studien indikerar att högläggning som markberedningsmetod är mer känslig för beståndsföryngring än vad harvning är. För högläggning ökade andelen underkända markberedningspunkter med ett ökat stamantal, medan harvning endast påverkades av antalet grövre stammar. Högsta korrelationen återfanns i högläggningsresultatet vid kombinationen av stigande blockkvot och antalet beståndsföryngrade stammar (andelen underkända markberedningspunkter vid högläggning ökade med stigande blockkvot och antalet stammar).

Slutsatserna av studien är att hyggen med ett högt antal beståndsföryngrade stammar bör harvas för att erhålla en hög andel godkända markberedningspunkter om ingen underväxtröjning/hyggesrensning utförs. Resultatet från Heureka-simuleringen pekar på ett negativt nuvärde för standardmässigt trakthyggesbruk på marker med ståndortsindex T20, men även att nuvärdet för en kommande omloppstid kan påverkas negativt av en utebliven underväxtröjning vid rik förekomst av beståndsföryngring (>4000/ha innan slutavverkning).

*Nyckelord:* Markbehandling, underväxtröjning, markberedningspunkt, planteringspunkt, hyggesrensning, underväxt, terräng

## Abstract

In Sweden, mechanical soil preparation is the dominant forest management task after harvesting. Soil preparation is the cultivation of the soil that is done to create a favorable growing site for future regeneration. The quality of the microsites has a significant impact on how future regeneration will develop; obstacles and aggravating factors can affect the result of the soil preparation. Previous studies have shown that boulder quota, tree residues and stumps have the greatest impact on soil preparation results, but studies regarding soil preparation results and the number of undergrowth stems are lacking. The purpose of this study was to make an in-depth study of the number and size of naturally regenerated stems has any effect on the soil preparation results.

The study was carried out during the summer-autumn 2020 and included both disc trenching and mounding on six of SCA's clearcuts in Norrbotten, Sweden. The field trial consisted of two inventory occasions, before and after soil preparation. Prior to soil preparation, data were collected on naturally regenerated stems and the terrain properties of the clearcuts. After soil preparation, the quality of the microsites within the sample plots was followed-up. Subsequently, analyses were performed on the impact of stand regeneration on soil preparation results, as well as net present value analyses with Heureka.

The results of the study indicate that mounding as a soil preparation method is more sensitive to naturally regenerated stems than disc trenching is. For mounding, the proportion of failed microsites increased with an increased number of stems, while disc trencher was only affected by the number of thicker stems. The highest correlation was found for mounding and the combination of a rising boulder quota, and the number of naturally regenerated stems. The proportion of failed microsites increased for mounding with increasing boulder quota, and the number of naturally regenerated stems.

The conclusions of the study are that clearcuts with a high number of naturally regenerated stems should be disc trenched to obtain a high proportion of approved microsites if no undergrowth clearing is carried out. The results from the Heureka simulation indicate a negative net present value for standard clearcutting on land with a site index of T20 and below; but also that the forthcoming rotation can be negatively affected by a lack of undergrowth clearing (in the event of a rich occurrence of naturally regenerated stems, > 4000 / ha) before final felling.

*Keywords:* Soil preparation, scarification, microsite, planting spot, pre-clearance, undergrowth, terrain.

# Förord

Jag vill börja med att tacka min handledare Back Tomas Ersson vid skogsmästarskolan. Back Tomas har med stort engagemang och driv varit till stor hjälp under arbetet.

Jag vill även ge ett stort tack till SCA Skog vid Norrbottens förvaltning som gjort studien möjlig, där framförallt Daniela Jakobsson och Erik Sundström har varit till stor hjälp vid inventering och utsökning av lämpliga trakter till arbetet.

Tack till Leif Johansson på SCA för handledning och närvarande under arbetet.

Luleå, januari 2021

Jacob Sundström

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning.....</b>	<b>11</b>
1.1. Bakgrund .....	11
1.2. Målet med markberedning.....	11
1.3. Markberedningsmetoder.....	12
1.4. Kvalitetspåverkande faktorer för markberedning .....	12
1.5. Beståndsföryngringen i skogen.....	13
1.6. Tidigare studier av markberedning.....	13
1.7. Syfte och mål.....	14
<b>2. Material och metod.....</b>	<b>15</b>
2.1. Vetenskaplig metod .....	15
2.2. Trakterna .....	15
2.3. Provytorna .....	16
2.4. Före markberedning .....	16
2.5. Efter markberedning .....	18
2.6. Analys av fältdata .....	21
2.7. Nuvärdesanalys av beståndsföryngringens ekonomiska påverkan på kommande omloppstid.....	21
<b>3. Resultat.....</b>	<b>23</b>
3.1. Högläggning .....	23
3.1.1. Beståndsföryngringens påverkan på högläggningsresultatet.....	23
3.2. Harvning .....	29
3.2.1. Beståndsföryngringens påverkan på harvningsresultatet .....	29
3.3. Ekonomisk analys.....	32
3.3.1. Nuvärdesanalys av beståndsföryngringens ekonomiska påverkan för kommande omloppstid .....	32
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>34</b>
4.1. Huvudresultaten .....	34
4.2. Jämförelse med befintlig kunskap .....	34
4.3. Ny kunskap från studien .....	35



4.4.	Styrkor och svagheter.....	36
4.5.	Vidare studier .....	36
4.6.	Slutsatser.....	37
<b>5.</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>38</b>
<b>Bilaga 1</b>	<b>.....</b>	<b>41</b>
<b>Bilaga 2</b>	<b>.....</b>	<b>42</b>
<b>Bilaga 3</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
<b>Bilaga 4</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>



# 1. Inledning

## 1.1. Bakgrund

I Sverige är maskinell markberedning den dominerande skogsvårdsåtgärden efter avverkning (Hjelm et al. 2012). Under perioden 2016–2019 utfördes markberedning på 88 % av avverkningsarealen (Skogsstyrelsen 2019). Föryngringen utgörs till största delen av plantering (Skogsstyrelsen 2019). Andelen godkända föryngringar under samma period uppgick till 91 % för samtliga föryngringsmetoder och 92 % för plantering.

## 1.2. Målet med markberedning

Markberedning är en bearbetning av marken som görs för att skapa en gynnsam växtplats för föryngringen (Albrektson et al. 2012). Markberedningen ger många olika fördelar till föryngringen. En rätt utförd markberedning ger planteringspunkter som minskar frostsador, ökar näringstillgången samt höjer syre och temperaturen i rotzonen (Hallsby 2013). Markberedningens effekter bidrar till att öka överlevnaden hos planterade plantorna (Strömberg et al. 2001; Hjelm et al. 2012). Vattentillgången är den mest kritiska faktorn för överlevnaden hos plantor, en fläck med bar mineraljord har en minskad konkurrens av annan vegetation samt ökar tillgången på vatten (Magnusson 2009). Den blottade mineraljorden bidrar även till att minska risken för skador från snytbaggen. Snytbaggen vistas ogärna på öppna ytor såsom bar mineraljord (Nordlander et al. 2006). Andelen snytbaggeskadade plantor kan minskas med 60 % om plantan sätts i ren mineraljord (Pettersson et al. 2005). Redan vid en mindre mineralfläck ses en minskad plantavgång på grund av snytbagge. Störst effekt nås vid en mineralfläck på minst 40x40 cm, det vill säga 20 cm till närmsta humus eller vegetation (Nordlander et al. 2006).

Markberedning har även positiva effekter på produktionen av biomassa (Mattsson & Bergsten 2003). Markberedningen påskyndar nedbrytningen av organiskt material och därmed ökar tillgången på tillgängliga näringsämnen

(Magnusson 2009). Omfattningen av markpåvekan hos de olika markberedningsmetoden har visats ha en korrelation till hur stor tillväxtökningen blir, största tillväxtökning ges vid harv därefter högläggning (Hjelm et al. 2019). Vid mycket omfattande markberedning på svaga ståndorter kan den produktionshöjande effekten kvarstå upp till 50-70 år (Örlander et al. 1996), vilket motsvarar en stor del av omloppstiden.

### 1.3. Markberedningsmetoder

Markberedning görs oftast mekaniskt där ett aggregat monterat på en skogsmaskin bearbetar marken. Markberedning kan även göras med en grävmaskin eller andra alternativa metoder. Ofta avlägsnar markberedningsaggregaten humuslagret och skapar en omvänd torva, planteringspunkten kan då antingen vara nere i mineraljorden eller i den omvända torvan (Magnusson 2009). Syftet är att ge föryngringen en högre konkurrensförmåga gentemot övrig vegetation, samt att ge rätt förutsättningar för plantorna i etableringsfasen (Hallsby 2013).

De dominerande markberedningsmetoderna är harv och högläggare (SCA 2018). Harvning är vad som kallar en kontinuerlig markberedningsmetod. Roterande tallrikar dras bakom skogsmaskinen och skapar en omvänd torva med mineraljord ovanpå. Högläggning är en intermittent arbetande metod där aggregatet med jämna mellanrum skapar en omvänd torva (Frölen 2019). Högläggning är en mer skonsam metod och har inte lika stor markpåverkan såsom harvning (Djupström et al. 2020). Markberedningen påverkar markytan och ökar risken för utlakning av näringsämnen, ju större markpåverkan markberedningen har ju mer näringsämnen frigörs (Magnusson 2009). Valet av markberedningsmetod bör därför anpassas till traktens blockighet, mängden hyggesrester och markfuktighet (Hallsby 2013).

### 1.4. Kvalitetspåverkande faktorer för markberedning

Det finns många olika faktorer och hinder som påverkar kvalitén på markberedningen. De faktorer som har störst inverkan på resultatet är block/sten, trädrester och stubbar (Andersson & Brunberg 1991; Larsson 2011). För att markberedningen ska skapa bästa möjliga förutsättning för lyckad föryngring krävs det att det utförs på rätt sätt. Inställningarna till markberedningsaggregatet kan justeras för att anpassas till rådande förutsättningar (Rülcker & Forshed 1991). Terrängförhållandena i skogen varierar och kan klassas in i 6 stycken faktorer, grundförhållande, ytstruktur, lutning, markytans bearbetningsmotstånd, blockkvot och trädrester/stubbar (Berg 1982). Ett allt för grovt humusskikt eller hyggesrester som kommer emellan den omvända torvan och markytan kan bidra till att vattenupptagningsförmågan försämras (Magnusson 2009). Därför är det av stor vikt

att torvan blir ordentligt omvänd samt att mineraljord hamnar ovanpå. Mineraljorden bidrar där till att tynga ner torvan mot marken och där med öka tillgången på vatten (Magnusson 2009).

## 1.5. Beståndföryngringen i skogen

Beståndsföryngringen eller underväxt är träd och buskar som växer inne i det slutna beståndet och utgör inte gagnvirke som tas ut vid avverkningen (Albrektson et al. 2012; Agestam 2015). Att röja bort underväxten innan avverkning har flera fördelar. Beståndsetablerade plantor med en höjd över 50 cm kan komma att vara konkurrerande mot huvudplantorna i föryngringen (Karlsson et al. 2017). Förädlade plantor har en högre produktivitet än naturligt föryngrade plantor (Albrektson et al. 2012; Ståhl & Bergh 2013). Vid föryngring av tall är det särskilt viktigt att röja bort konkurrerande underväxt medan vid naturlig föryngring av gran kan beståndsföryngringen nyttjas till kommande omloppstid (Karlsson et al. 2017). Nackdelarna med att röja bort beståndsföryngringen kan inkludera att boplatser och skydd för fåglar och djur försvinner (FSC 2020).

Den dominerande röjningsformen är enkelställning, vilket går ut på att röja fram och minska konkurrensen för de utvalda huvudstammarna. Röjningen utförs vanligtvis när beståndet uppnått en höjd av 1,3 m (Pettersson et al. 2012). Underväxten kan också komma att skymma sikten vid avverkning och försämra produktiviteten (Kärhä 2006; Eliasson & Johannesson 2009), vilket bidrar till en kostnadsökning i bortsättningen (SCA 2006). Vid GROT-uttag minskas risken av att mineraljord medförs till flisningen om underväxtröjning utförs (Lundqvist et al. 2014). Röjningen kan också genomföras efter avverkningen, då för att underlätta markberedningen och ta bort eventuellt konkurrerande underväxt (Karlsson et al. 2017). Röjning inför eller efter slutavverkning har traditionellt kallats hyggesrensning (Håkansson 2000).

## 1.6. Tidigare studier av markberedning

Tidigare studier visar att markberedningens resultat påverkas av traktens terrägenskaper samt markens bearbetningsmotstånd, blockkvot, och mängden efterlämnat ris och stubbar (von Hofsten 1993; Ersson et al. 2017). En hög blockkvot korrelerar med ett försämrat antal godkända planteringspunkter (Andersson & Brunberg 1991). Harvning skapar generellt fler godkända planteringspunkter än högläggning. De hinder som ofta utgör ett problem vid högläggning är stenar och kvarvarande stubbar (Larsson 2011). Trakter där uttag av GROT har tillämpats ökar kvalitén på markberedningsresultatet (Saarinen 2006), samt att överlevnaden av barrplantor ökar (Egnell et al. 1998). Markberedningens

kvalité har en betydande inverkan på hur överlevnaden hos föryngringen blir (Söderbäck 2012), hinder och försvårande faktorer påverkar resultatet av markberedningen. Att underväxten har en påverkan på resultatet av markberedningen är då troligt. En tidigare kanadensisk studie angående kvalitén på markberedningspunkter påpekar att kvarvarande vegetation troligen har en inverkan på resultatet (Berube 2011). Men studier angående markberedningskvalitén och antalet underväxtstammar saknas, studier som berör underväxten är mer fokuserad på de hinder som blir vid avverkning (Frank 2006; Kärhä 2006; Eliasson & Johannesson 2009; Skogelid 2019; Wiklund 2019).

Forskning har visat att underväxten kan påverka avverkningskostnaden (Eliasson & Johannesson 2009); (Kärhä 2006). En underväxtröjning (eller s.k. hyggesrensning) görs vanligtvis när beståndsföryngringen blir allt för hindrande för drivningen eller när det finns risk för konkurrens med kommande föryngring (Karlsson et al. 2017). Om kvalitén på markberedningen blir dålig och leder till en försämrad föryngring, kan resultatet av denna studie kanske visa att en underväxtröjning kan vara lönsam även vid färre underväxtstammar.

## 1.7. Syfte och mål

Syftet med den här studien var att undersöka hur beståndsföryngringens antal, diameter och höjd påverkar markberedningsresultatet vid högläggning och harvning i Norrbotten. Övriga hinder så som markskiktets tjocklek, antalet stubbar, och markens blockighet vägdes också in i studien. Ett delsyfte med studien var att göra en ekonomisk analys av beståndsföryngringens påverkan på beståndets nuvärde vid trakthyggesbruk. Målet med studien var att kunna ge SCA vägledning när en underväxtröjning/hyggesrensning inför slutavverkning bör utföras eller ej.

Studiens hypoteser var 1) att andelen underkända markberedningspunkter ökar med ett ökat antal beståndsföryngrade stammar per hektar, och 2) att högläggning är den markberedningsmetod som är känsligast för påverkan av beståndsföryngring.

## 2. Material och metod

### 2.1. Vetenskaplig metod

Studien inleddes med att kartlägga vilka faktorer som har en påverkan på markberedningsresultatet. Eftersom studiens fokus var att undersöka hur beståndsföryngringen påverkar resultatet av markberedningen krävdes det att nya data samlades in. Subjektivt utvalda provytorna lades ut före markberedningen där data om beståndsföryngringen och provytans fysikaliska egenskaper samlades in, därefter besöktes provytorna efter markberedningen och en kvalitetsuppföljning av markberedningspunkterna utfördes. Efteråt utfördes analyser på vilka av faktorerna av beståndsföryngringen som påverkar markberedningsresultatet.

### 2.2. Trakterna

Datainsamlingen genomfördes på sex trakter i Norrbottens län under barmarksäsongen 2020 (Tabell 1). Trakterna valdes ur SCAs planerade markberedningar under säsongen 2020 tillsammans med distriktansvariga på Norrbottens skogsförvaltning. Kriteriet för de trakterna som valdes ut var att de skulle ha ett högt antal beståndsföryngrade stammar. Tre trakter skulle högläggas, och tre trakter skulle harvas. Markberedningsaggregaten som användes till studien var Bracke M46 för högläggning och Bracke T35 för harvning (Bracke 2020). Lutningsklassen enligt Terrängtypschemat (Berg 1982) var klass 1 på alla sex trakter, ståndortsindex (SI) var T20 för samtliga trakter förutom en (Bleslandet) som var T16.

**Tabell 1.** De 6 trakterna som ingick i studien och deras egenskaper enligt SCAs traktbank. Ytstruktur enligt Berg (1982).

**Table 1.** The 6 blocks that were included in the study and their site characteristics according to SCA's tract bank. Ground roughness ("Ytstruktur") according to Berg (1982).

Avdelning	Markberedningstyp	SI	Markvegetation	Jordart	Ytstruktur (1–5)
Altergård	Högläggning	T20	Lingon typ	Sandig-moig morän	2
Nedre Storfors	Högläggning	T20	Lingon typ	Moig-mjällig morän	2
Altervattnet	Högläggning	T20	Lingon typ	Sandig- moig morän	2
Ljuså	Harv	T20	Lingon typ	Sandig- moig morän	1
Storheden	Harv	T20	Lingon typ	Sandig- moig morän	2
Bleslandet	Harv	T16	Blåbärstyp	Sandig- moig morän	1

## 2.3. Provytorna

Provytor (10–15 per trakt) lades ut subjektivt på trakterna där målet var att täcka in ett varierat antal beståndsföryngrade stammar. På fyra trakter lades 15 provytor ut, medan det på två trakter endast lades ut 10 provytor. Valet av antalet berodde på storleken på trakten samt variationen inom trakten. Totalt lades 80 provytor ut, 40 på harv och 40 på högläggning (Tabell 2). Storleken på provytorna var 100 m<sup>2</sup> och utgjordes av cirkelprovytor med en radie på 5,64 m (Figur 1). Provytans centrum markerades med färgmarkering samt GPS-position.

## 2.4. Före markberedning

Datainsamlingen före markberedningen utgjordes av två moment. Först dokumenterades samtliga beståndsföryngrade stammar inom provytan. Här mättes höjden, diametern vid tänkt stubbskär och träslag för var och en av de beståndsföryngrade stammarna. Höjden noterades inom ett höjdintervall om 4 dm, diametern noterades inom ett intervall om 2 cm (Bilaga 1). Det andra momentet var att dokumentera terrängfaktorer markytans bearbetningsmotstånd, blockkvot och trädrester-stubbar enligt Bergs (1982) terrängtypschema. För att bestämma bearbetningsmotståndet definierades markvegetationen och jordarten (Bilaga 2). För att ta jordprov och mäta skiktjockleken användes en jordsond med 10 cm markeringar. Markfuktigheten bedömdes okulärt inom provytan.

Blockkvoten beräknades med 10 subjektivt utsprida nedstick med jordsond på ett djup av 20 cm inom provytan. När jordsonden träffade en sten räknades det som en träff, därefter delades antalet träffar med antalet nedstick för att få fram



blockkvoten. Trädrester och stubbar är en terrängfaktor som också avgör bearbetningsmotståndet. Till bedömningen av trädresterna uppskattades täckningsgraden inom ytan, samt diametern på kvistarna och tjockleken på GROT-högarna. Därefter räknades samtliga stubbar inom provytan. All data från terrängfaktorerna fördes in i ett formulär (Bilaga 1). Datat från formuläret användes sedan till att bestämma svårighetsklasserna 1-5 för terrängfaktorerna, markens bearbetningsmotstånd (M), blockkvot (B) och trädrester och stubbar (T) enligt Bergs (1982) terrängtypschema.



**Figur 1.** Utläggning av provyta innan markberedning på trakten Altervattnet. Foto: Jacob Sundström.

**Figure 1.** Establishing a sample plot before soil preparation on the Altervattnet block. Photo: Jacob Sundström.

**Tabell 2.** Medelvärden från inventeringarna av studiens 6 trakter i Norrbotten. Beståndsföryngringens trädslagsfördelning var tall (T), gran (G) och löv (L).

**Table 2.** Mean values from the inventories of the study's 6 blocks in Norrbotten.

Markberedningstyp	Trakt	Antal Prov- ytor	Bestånds- föryngrade stammar (antal/ha) (standard- avvikelsen inom parentes)	T,G,L (%)	Höjd (m)	Dia- meter (cm)	Stubb- ar (antal/ ha)	Block- kvot (%)
Hög- läggning	Alter- gård	15	3507 (1762)	3,15,82	1,4	2,0	707	77
Hög- läggning	Nedre Stor-fors	15	1567 (977)	1,69,30	1,6	3,0	1573	23
Hög- läggning	Alter- vattnet	10	2380 (1607)	1,34,65	1,4	2,0	1090	21
Harv	Ljuså	15	2729 (1554)	4,23,73	1,5	2,0	586	51
Harv	Stor- heden	15	3091 (1800)	20,2,78	1,3	2,0	627	55
Harv	Bles- landet	10	1840 (913)	2,23,75	1,6	2,0	580	53

## 2.5. Efter markberedning

När markberedningen var utförd gjordes en inventering av markberedningspunkterna inom provytorna (Figur 2). Markberedningspunkterna inom provytorna klassades enligt SCA:s instruktioner för markberedning (Tabell 3). Om markberedningspunkten inte uppfyllde någon av kriterierna klassades den som underkänd "Uk".



**Figur 2.** Bilder från inventeringen efter markberedning på trakten Storheden. Till vänster har harven skapat en lång omvänd torva. Till höger har beståndsförnyringen hindrat torvan från att omvändas.

**Figure 2.** Pictures of the inventory after soil preparation in the Storheden block. To the left, the disc trench has created a long berm. To the right, the stand regeneration has prevented the humus from being inverted and forming a berm.

**Tabell 3.** Definition av markberedningspunkternas kvalitet enligt (SCA 2016).

**Table 3.** Definition of microsite quality according to (SCA 2016).

Klass	Kriterier
5	Omvänd torva täckt med mer än 2 x 2 dm mineraljord med tjocklek minst 3 cm. Mineraljordslagret får inte vara tjockare än 10 cm samt att den omvända torvan inte får vara större än 7 x 7 dm.
4	Omvänd torva minst 2 x 2 dm och med mineraljordstäckning minst 1 x 1 dm, inget krav på tjocklek. Den omvända torvan får ej vara större än 7 x 7 dm.
Mineral 3	Fläck eller spår som domineras av mineraljord med planteringspunkt över eller i marknivå. Fläcken ska vara minst 2 x 2 dm eller spåret ska minst vara 2 dm brett. Fläcken får max vara 7 x 7 dm och spåret får max vara 7 dm brett.
Humus 3	Fläck eller spår som domineras av humusrester med planteringspunkt över eller i marknivå. Fläcken ska minst vara 2 x 2 dm eller spåret ska minst vara 2 dm brett. Fläcken får max vara 7 x 7 dm och spåret ska max vara 7 dm brett.
Torv 3	Omvänd torva minst 2 x 2 dm och med mineraljordstäckning mindre än 1 x 1 dm eller att mineraljordstäckning helt saknas. Den omvända torvan får ej vara större än 7 x 7 dm.
Underkänd	Uppfyller ingen av ovanstående kriterier.

Resultatet av markberedningen fördes in i ett formulär (Bilaga 1). För högläggning räknades alla punkter där aggregatet försökt eller skapat en markberedningspunkt. Eftersom harven skapar en kontinuerlig markpåverkan skapas möjliga markberedningspunkter löpande i harvspåret. Enligt instruktionerna för markberedning (SCA 2016) ska avståndet mellan markberedningspunkterna minst vara en meter. Där avståndet mellan två godkända punkter översteg två meter klassades det som en ej godkänd punkt mellan dem. Detta gjordes för att även ha en parameter med underkända punkter för harv.

## 2.6. Analys av fältdata

Datat från fältstudien fördes in i Excel och sammanställdes. Värdena för terrägegenskaper omvandlades till svårighetsklasser enligt terrängtypsschemat (Berg 1982). Markberedningspunkterna mineral, humus och torv 3 slogs ihop till en gemensam klass 3. Analyserna som utfördes var regressionsanalys och Pearsonkorrelationstest med hjälp av analysprogrammet Minitab 19. För att visualisera resultatet skapades grafer och tabeller i Excel. För att resultatet skulle anses signifikant användes en gräns för p-värden på 0,05.

## 2.7. Nuvärdesanalys av beståndsföryngringens ekonomiska påverkan på kommande omloppstid

Nuvärdesanalysen utfördes med hjälp av Heureka StandWise. Bestånd med ståndortsindex (SI) T20 och T24 simulerades från kalmark till slutavverkning med tall som föryngrat trädslag (dvs standardmässigt trakthyggesbruk i Norrbotten vilket innebar markberedning, plantering, röjning, gallring, och slutavverkning). Åtgärderna som utfördes under simuleringarna var en röjning vid 20 år följt av tre gallringar. Gallringarna utfördes vid år 40, 50 och 65 för T20 och 35, 45 och 60 för T24. Slutavverkningen skedde vid 80 år för T20 och 70 år för T24. Förutsättningarna för bestånden var desamma (Bilaga 3). Målet var att undersöka hur nuvärdet påverkas av antalet beståndsföryngrade stammar. De faktorer som togs med i beräkningarna var kostnadsökningen vid avverkning, röjningskostnaden och nuvärdet för kommande omloppstid, vid en ränta på 3%. Valet av en kalkylränta på 3% motiverades av att den nivån länge har varit standard inom skogsbruket (Håkansson & Larsson 1998). Antalet beståndsföryngrade stammar var från 0 – 5000 med ett intervall om 1000 stammar. Inställningarna i Heureka StandWise var standardinställningarna för version 2.17 (Heureka 2019).

Analysen utgjordes med två antagna scenarier. Det första scenariot var FörRöjt, och det innebar att beståndet röjdes innan slutavverkning, vilket gav noll antal beståndsföryngrade stammar till kommande markberedningen. Kommande omloppstid simulerades i Heureka med rekommenderat antal plantor (Bilaga 3). Nuvärdet räknades ut genom att beräkna nuvärdet för omloppstiden minus kostnaden för underväxtröjning.

Det andra scenariot var ORöjt, och det innebar att beståndet inte röjdes innan avverkning, vilket ledde till en kostnadsökning vid avverkning samt att beståndsföryngringen stod kvar vid markberedningen. Kommande omloppstid simulerades med data från regressionsanalysen över andelen underkända markberedningspunkter till följd av antalet beståndsföryngrade stammar (Tabell 6). Antagandet som gjordes var att mortaliteten hos plantor som planteras i underkända markberedningspunkter var 33,3%. Detta antagandet grundar sig på Karlstrands

2019) inventeringsresultat för de olika markberedningspunkterna. Karlstrand (2019) fann att vitaliteten hos plantor som planteras i underkända markberedningspunkter var 66,7 %. För att simulera mortaliteten för andelen plantor som planteras i underkända markberedningspunkter planterades det ett reducerat antal plantor till följd av andelen underkända markberedningspunkter (Bilaga 3). För att räkna ut plantantalet baserat på antalet underkända markberedningspunkter användes följande ekvation:

$$P = Ra - (Uk * 0,333 * Ra) \quad (1)$$

Där,

P = Plantantal/ha

Ra = Rekommenderat antal plantor

Uk = Andelen underkända markberedningspunkter

Därefter simulerades omloppstiden i Heureka för samtliga intervall med beståndsföryngring. Nuvärdet räknades ut genom att beräkna nuvärdet för omloppstiden minus kostnadsökningen för avverkning. Kostnaden för planteringen var desamma för alla alternativ inom samma SI (Bilaga 3).

Uträkningarna för röjning och avverkningskostnaden gjordes med hjälp en kostnadsmatris för röjning från (Skogskunskap 2016) och prestationspåverkande faktorer för skördare från (SCA 2006) i Bilaga 4. För röjningen räknades det med en medelhöjd på 2 m och 2800 kr per dagsverk<sup>1</sup>. För avverkningskostnaden användes värdena enligt Bilaga 3. Antalet beståndsföryngrade stammar sattes från 0 – 5000 med ett intervall om 1000 stammar.

---

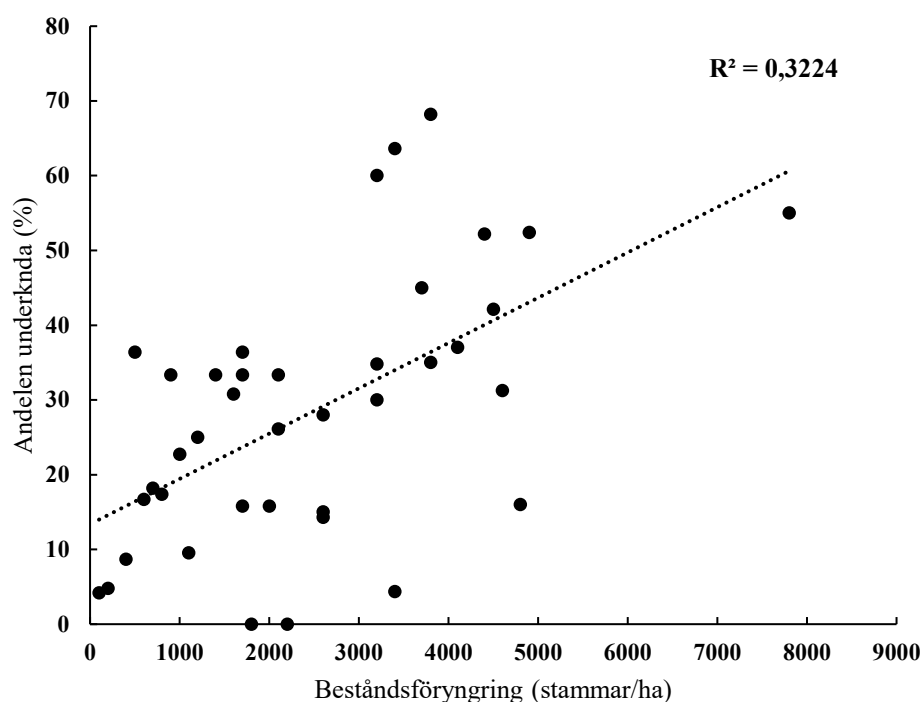
<sup>1</sup> Personlig kommunikation, Leif Johansson, skogsvårdsspecialist, SCA, 2020-12-09

## 3. Resultat

### 3.1. Högläggning

#### 3.1.1. Beståndsföryngringens påverkan på högläggningsresultatet

Efter utförd högläggning återfanns totalt 39 av 40 utlagda provytor. Antalet skapade markberedningspunkter per ha varierade på de 3 höglagda trakterna mellan 2021–2250. Sambandet mellan antalet beståndsföryngrade stammar och andelen underkända markberedningspunkter visade en positiv korrelation (Figur 3). Inget samband återfanns i antalet skapade markberedningspunkter och antalet beståndsföryngrade stammar. Bland beståndsföryngringens olika faktorer hade det totala antalet beståndsföryngrade stammar den högsta korrelationen mot andelen underkända markberedningspunkter (Tabell 4). Antalet underkända markberedningspunkter ökade med antalet underväxtstammar (Pearsons korrelationstest = 0,568).



**Figur 3.** Sambandet mellan antalet beståndsföryngrade stammar per hektar och andelen underkända markberedningspunkter vid högläggning,  $N=39$ .

**Figure 3.** The relationship between the number of naturally regenerated stems per hectare and the proportion of inadequate microsites after mounding,  $N = 39$ .

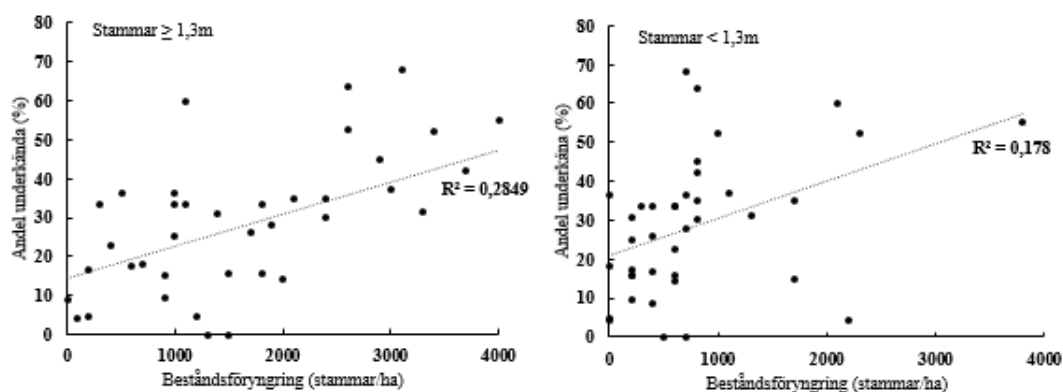
Även höjden på beståndsföryngring hade en betydelse för resultatet (Tabell 4). Beståndsföryngring  $\geq 1,3$  m har en högre korrelation mot andelen underkända planteringspunkter än vad stammar  $< 1,3$  m hade (Figur 4).

**Tabell 4.** Regressionsanalys över beståndsföryngringens påverkan på andelen underkända markberedningspunkter vid högläggning,  $N=39$ .

**Table 4.** Regression analysis of the impact of stand regeneration on the proportion of failed soil preparation points during mounding,  $N = 39$ .

	$R^2$ - värde	Pearsons- korrelation	p- värde
Samtliga beståndsföryngrade stammar	32,2 %	0,568	0,00016
Beståndsföryngring $< 1,3$ m	17,8 %	0,422	0,007
Beståndsföryngring $\geq 1,3$ m	28,5 %	0,534	0,0005

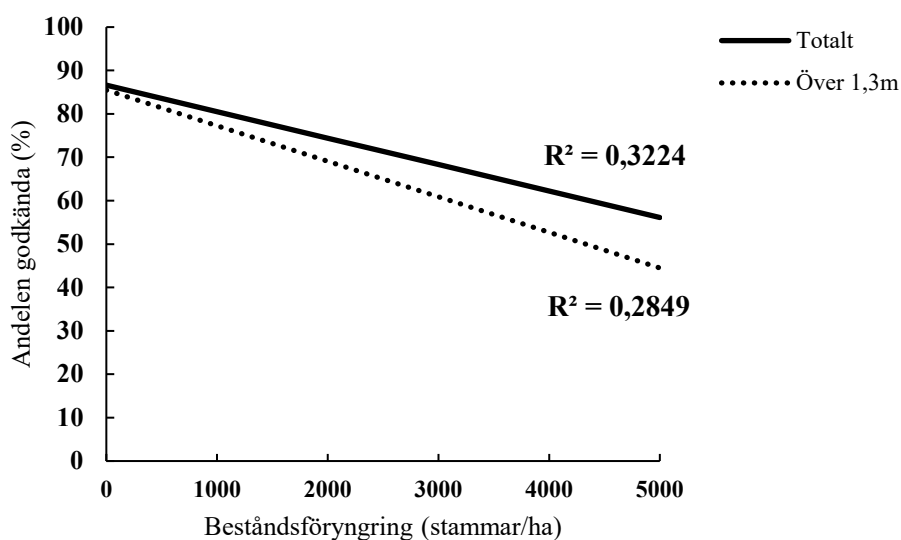




**Figur 4.** Sambandet mellan antalet beståndsförnygrade stammar per hektar och andelen underkända markberedningspunkter vid högläggning. Stammar  $\geq 1,3$  m (vänster), stammar  $< 1,3$  m (höger),  $N=39$ .

**Figure 4.** The relationship between the number of naturally regenerated stems per hectare and the proportion of inadequate microsites after mounding. Stems  $\geq 1,3$  m (left), stems  $< 1,3$  m (right),  $N = 39$ .

Andelen godkända markberedningspunkter (bedömningsklass 5,4,3) påverkades signifikant av antalet beståndsförnygrade stammar ( $p < 0,0005$ ). Andelen godkända markberedningspunkter minskade med ökad stamtäthet (Figur 5). Stammar  $\geq 1,3$  m hade en större påverkan på andelen godkända markberedningspunkter än vad totalt antal stammar hade.



**Figur 5.** Modell för prediktering av andelen godkända markberedningspunkter baserat på antalet beståndsförnygrade stammar vid högläggning,  $N=39$ . ( $\geq 1,3$  m. Godkända =  $0,8549 - 0,000082 \cdot \text{antal stammar/ha}$ ), (Totalt Godkända =  $0,8662 - 0,000061 \cdot \text{antal stammar/ha}$ ).

**Figure 5.** Model for predicting the proportion of approved microsites based on the number of naturally regenerated stems after mounding,  $N = 39$ . ( $\geq 1,3$  m. Pass =  $0.8549 - 0.000082 \cdot \text{number of stems}$ ), (Total Pass =  $0.8662 - 0.000061 \cdot \text{number of stems}$ ).

Av de andra uppmätta faktorerna var det främst blockigheten som hade en signifikant inverkan på markberedningsresultatet (Tabell 5). Andelen underkända markberedningspunkter ökade med stigande blockkvot ( $p < 0,001$ ). Antalet stubbar hade ingen signifikant påverkan på det totala antalet markberedningspunkter. Tvärt emot logiken visade det sig däremot att antalet underkända markberedningspunkter minskade med ett ökande antal stubbar och mängden trädrester ( $p = 0,02$  respektive  $p = 0,03$ ). Förklaringen till det kan vara att antalet stubbar per hektar ökar med en minskande blockkvot ( $p = < 0,001$ ).

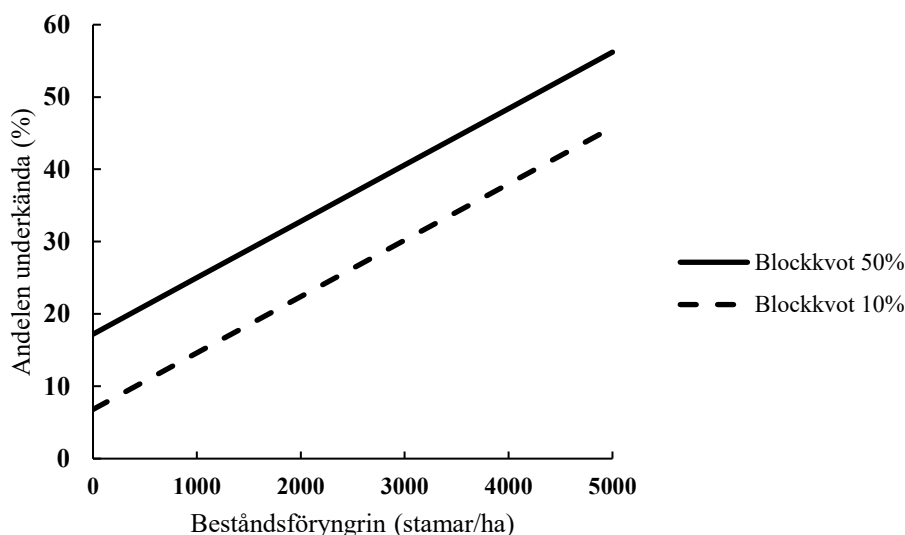
**Tabell 5.** Regressionsanalys över terrängfaktors påverkan på andelen underkända markberedningspunkter vid högläggning,  $N=39$ ,  $Y$  = andel underkända.

**Table 5.** Regression analysis of the impact of terrain factors on the proportion of inadequate microsites after mounding,  $N = 39$ ,  $Y$  = proportion of failed.

	<b><math>R^2</math> - värde</b>	<b>Pearsons- korrelation</b>	<b>p - värde</b>	<b>Ekvation</b>
Blockkvot (0–100%)	28,4 %	0,533	<0,001	$Y = 0,1689 + 0,2725$ blockkvot
Stubbar/ha	23,6 %	-0,486	0,02	$Y = 0,4570 - 0,000152$ stubbar/ha
Bearbetningsmotstånd (klass 1–5)	0,4 %	-0,065	0,69	-
Trädrester och stubbar (klass 1–5)	11,8 %	-0,344	0,032	$Y = 0,4575 - 0,1211$ trädrester & stubbar
Blockklass (1–5)	32,5 %	0,570	<0,001	$Y = 0,09238 + 0,06061$ blockklass
Samtliga beståndsförnygrade stammar + blockkvot	50,6 %	-	Stammar <0,001, blockkvot <0,001, regression <0,001	$Y = 0,0625 + 0,000051$ stammar/ha + 0,2239 blockkvot

Beståndsförnygrade stammar $\geq 1,3$ m + blockkvot	54,3 %	-	Stammar <0,001, blockkvot <0,001, regression <0,001	$Y = 0,0420 + 0,000078$ stammar $\geq$ 1,3/ha + 0,2601 blockkvot
---	--------	---	--	---

Kombinationen av beståndsförnyring och blockkvot hade ett högt samband med andelen underkända markberedningspunkter. Andelen underkända punkter ökar med ökande blockkvot samt antalet beståndsförnygrade stammar (Figur 6). Även här (tillsammans med blockkvoten) visade faktorn ”Beståndsförnygrade stammar  $\geq 1,3$  m” påverka sambandet än mer än faktorn ”Samtliga beståndsförnygrade stammar” ( $R^2$ -värden på 54,3% respektive 50,6%, (Tabell 5). Övriga faktorer visar inget signifikant samband.



**Figur 6.** Modell för prediktering av andelen underkända markberedningspunkter vid högläggning baserat på kombinationen av antalet beståndsförnygrade stammar  $\geq 1,3$  m och blockkvot. Ekvationen presenteras i Tabell 5.

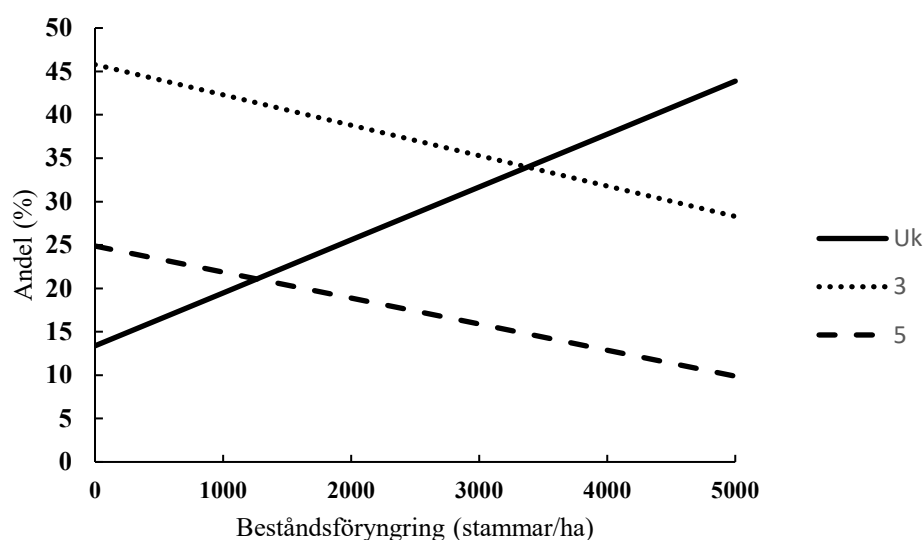
**Figure 6.** Model for predicting the proportion of failed microsites during mounding based on the combination of the number of naturally regenerated stems  $\geq 1,3$  m and boulder quota. The equation is presented in Table 5.

Andelen markberedningspunkter med klass 5 hade en negativ korrelation till antalet beståndsförnygrade stammar (Tabell 6). Samma tendens sågs för klass 3 medan för klass 4 fanns ingen korrelation. Figur 7 visualiserar hur andelen av markberedningspunkterna 5, 3 och underkända förhåller sig till regressionen.

**Tabell 6.** Regressionsanalys över antalet beståndsförnygrade stammar och andelen av olika kvalitetsklasser av markberedningspunkter vid högläggning,  $N=39$ ,  $Y$  = andel av klassen.

**Table 6.** Regression analysis of the number of naturally regenerated stems and the proportion of different quality classes of microsites after mounding,  $N = 39$ ,  $Y$  = the proportion of the class.

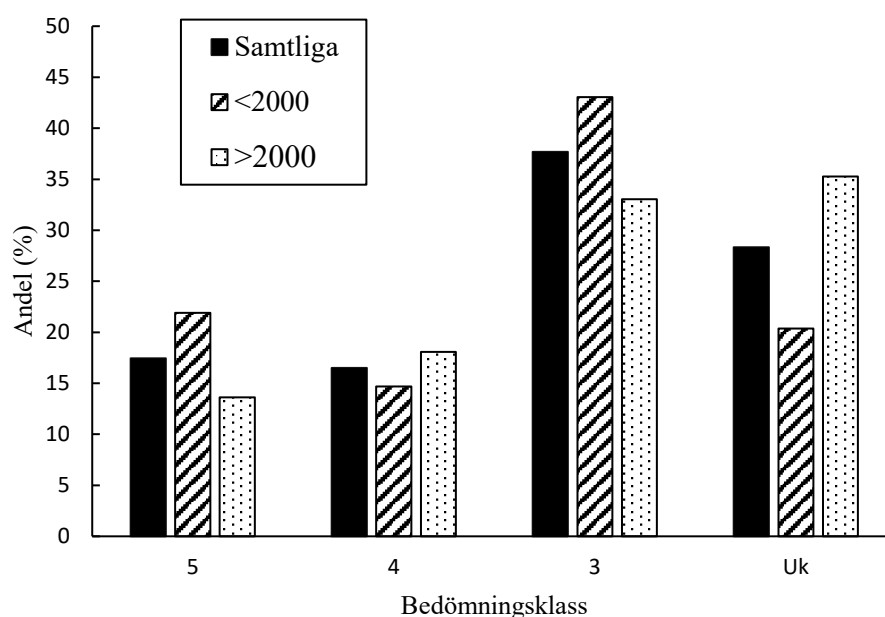
Markberedningspunkt	$R^2$ - värde	Pearsons-korrelation	p - värde	Ekvation
5	15,4 %	-0,392	0,014	$Y = 0,2488 - 0,000030^* \text{ stammar/ha}$
4	0,1 %	0,024	0,88	-
3	14,2 %	-0,376	0,018	$Y = 0,4579 - 0,000035^* \text{ stammar/ha}$
Underkända	32,2 %	0,568	0,00016	$Y = 0,1338 + 0,000061^* \text{ stammar/ha}$



**Figur 7.** Modell för prediktering av andelen markberedningspunkterna vid högläggning som klassas i kvalitetklasserna underkänt (Uk), klass 3 (3), och klass 5 (5) baserat på antalet beståndsförnygrade stammar. Ekvationerna presenteras i Tabell 6.

**Figure 7.** Model for predicting the proportion of microsites after mounding that is classified in the quality classes failed (Uk), class 3 (3) and class 5 (5) based on the number of naturally regenerated stems. The equations are presented in Table 6.

Det skapades i medeltal 2143 markberedningspunkter per hektar på de 39 höglagda provytorna. Antalet beståndsförnygrade stammar var i medelvärde 2471/ha för samtliga ytor. De ytor som hade  $\geq 2000$ /ha beståndsförnygrade stammar per hektar (21 ytor) hade färre markberedningspunkter av klass 5 och 3 samt en ökad andelen underkända punkter (Figur 8). Ytor  $< 2000$ /ha beståndsförnygrade stammar per hektar (18 ytor) hade den högsta andelen av klass 5 och 3, samt den lägsta andelen av underkända markberedningspunkter.



**Figur 8.** Fördelningen av markberedningspunkterna vid högläggning klassade i kvalitetklasserna underkänt (Uk), klass 3 (3), klass 4 (4) och klass 5 (5). Uppdelat i kategorierna, ytor  $\geq 2000$  (21 ytor), ytor  $< 2000$  (18 ytor) beståndsförnygrade stammar per hektar och samtliga ytor (39 ytor).

**Figure 8.** The distribution of microsites after mounding classified in the quality classes failed (Uk), class 3 (3), class 4 (4) and class 5 (5). Divided into categories, plots  $\geq 2000$  (21 areas), plots  $< 2000$  (18 areas) naturally regenerated stems per hectare and all plots (39 plots).

## 3.2. Harvning

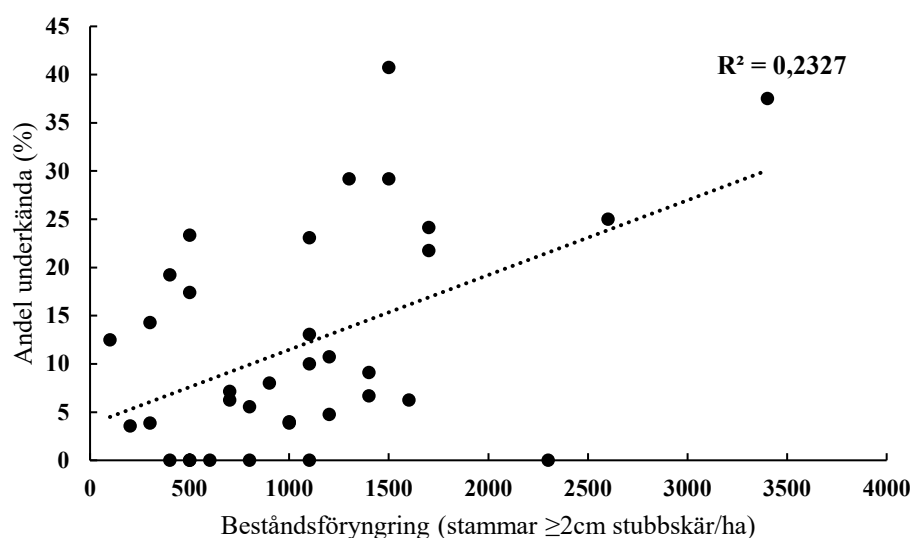
### 3.2.1. Beståndsförnyringens påverkan på harvningsresultatet

Efter utförd harvning återfanns totalt 35 av 40 utlagda provytor. Antalet skapade markberedningspunkter per ha varierade på de 3 harvade trakterna mellan 2318 – 2621. För harvning kunde ingen korrelation mellan det totala antalet beståndsförnygrade stammar och andelen underkända markberedningspunkter hittas (Tabell 7). Inget samband återfanns heller mellan antalet skapade markberedningspunkter och antalet beståndsförnygrade stammar. Däremot hade antalet beståndsförnygrade stammar med en stubbsnittsdiаметer  $\geq 2$  cm i stubbsnitt en signifikant positiv korrelation med andelen underkända markberedningspunkter (Figur 9,  $p = 0,003$ ). För harvning fanns ingen signifikans i kombinationen av beståndsförnygring och blockkvot.

**Tabell 7.** Regressionsanalys över beståndsförnyringens påverkan på andelen underkända markberedningspunkter vid harvning, N=35.

**Table 7.** Regression analysis of the impact of naturally regenerated stems on the proportion of inadequate microsites during disc trenching, N = 35.

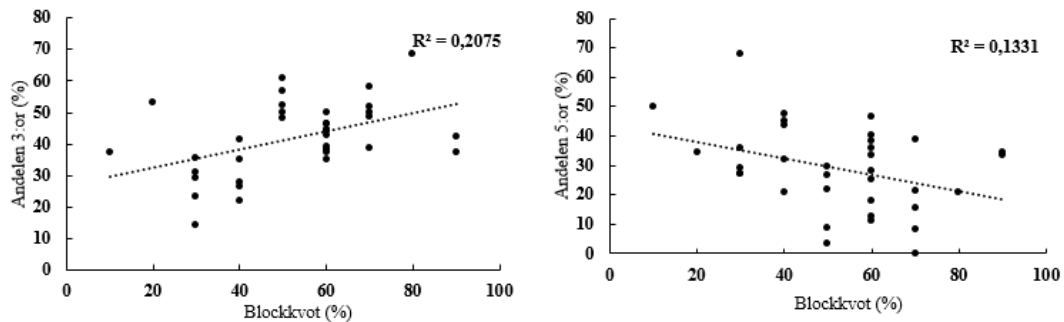
	$R^2$ - värde	Pearsons- korrelation	p - värde
Samtliga beståndsförnygrade stammar	0,0 %	0,001	0,995
Beståndsförnyring under 1,3 m	6,5 %	-0,255	0,140
Beståndsförnyring över 1,3 m	2,4 %	0,155	0,375
Beståndsförnyring med ett stubbskär ≥2cm	23,3 %	0,482	0,003
Beståndsförnyring med ett stubbskär <2cm	6,35 %	-0,252	0,144



**Figur 9.** Andelen underkända markberedningspunkter och stammar/ha över 2 cm i stubbskärsdiameter för harvning, N=35.

**Figure 9.** Proportion of inadequate microsites and naturally regenerated stems / ha over 2 cm in stubble cutting diameter after disc trenching, N = 35.

Blockkvoten är den terrängfaktor som hade en signifikant påverkan på resultatet efter harvning. Andelen markberedningspunkter av klass 3 ökade med högre blockkvot ( $p = 0,006$ ), och logiskt nog så minskade även andelen klass 5-punkter med stigande blockkvot ( $p = 0,031$ ) (Figur 9).



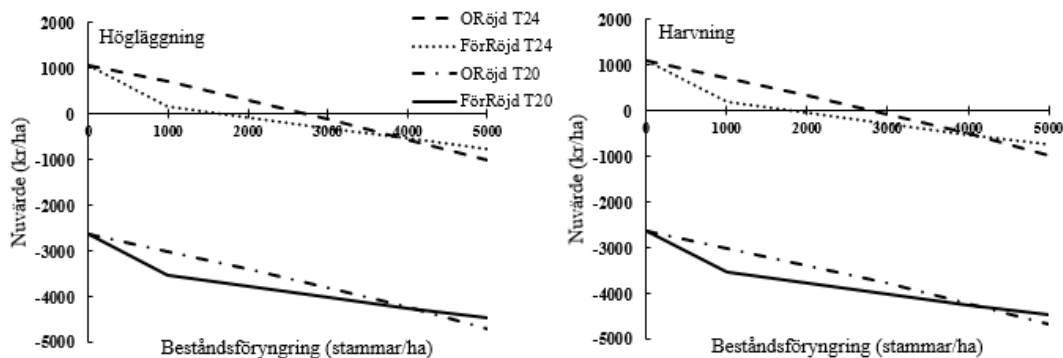
**Figur 2.** Andelen markberedningspunkter av klass 3 (vänster) och klass 5 (höger) för harvning vid varierande blockkvot,  $N=35$ .

**Figure 10.** Proportion of microsites of class 3 (left) and class 5 (right) after disc trenching at various boulder quotas,  $N = 35$ .

### 3.3. Ekonomisk analys

#### 3.3.1. Nuvärdesanalys av beståndsförnygringens ekonomiska påverkan för kommande omloppstid

Nuvärdet för standardmässigt trakthyggesbruk (markberedning, plantering, röjning, gallring och slutavverkning) var alltid negativt för bestånd med ståndortsindex T20, och negativt även för bestånd med ståndortsindex T24 vid beståndsförnygring över 1500–2800 st/ha beroende på markberedningstyp och förröjningsscenario (Figur 11). Scenariot FörRöjd fick ett högre totalt nuvärde vid >4000 stammar/ha för högläggning och >4200 stammar/ha för harv. Vid lägre stamantal var nuvärdet för ORöjd högre.

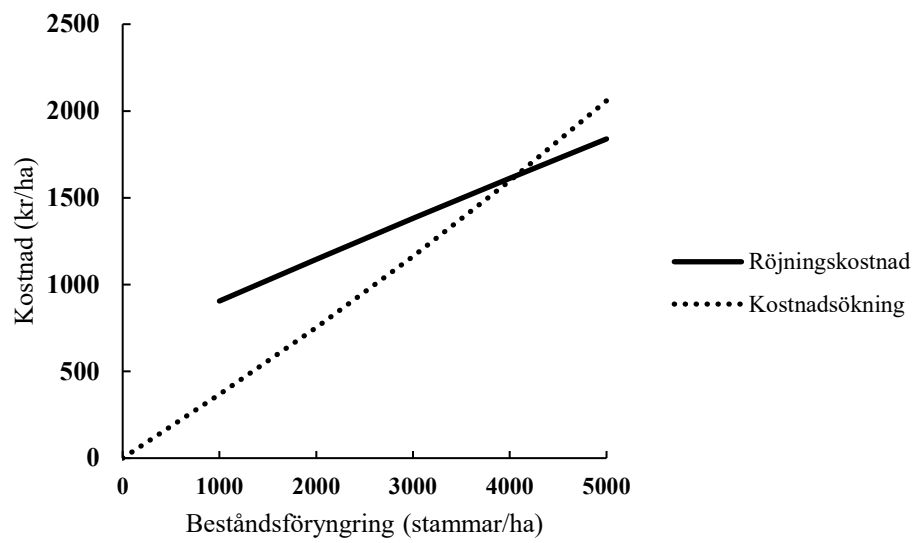


**Figur 3.** Nuvärdet per hektar av bestånd med ståndortsindex T20 och T24 beroende av antalet beståndsförnygrade stammar. Högläggning till vänster, harvning till höger, Kalkylränta = 3%.

**Figure 11.** The net present value per hectare of stands with site indices T20 and T24 depending on the number of naturally regenerated stems. Mounding to the left, disc trenching to the right, Interest rate = 3%.

Förändringen av nuvärdet i Heureka var till största del beroende av kostnadsökningen för avverkningen och röjningskostnaden. Nuvärdet för kommande omloppstid från Heureka minskade i medeltal 4,4 kr/ha per 1000 underväxtstammar för SI T20 och 8,2 kr/ha för SI T24. Kostnadsökningen för avverkningen ökade i medeltal 407 kr/ha respektive 412 kr/ha per 1000 underväxtstammar. Röjningskostnaden ökade i medeltal 368 kr/ha per 1000 underväxtstammar. Vid ett stamantal över 4000 stammar/ha var röjningskostnaden lägre än vad kostnadsökningen för avverkningen var (Figur 12).





**Figur 4.** Beräknad kostnadsökningen för avverkning samt kostnaden för röjning vid ett varierat antal underväxtstammar.

**Figure 12.** Estimated cost increase for harvesting and the cost of cleaning as a function of the number of undergrowth stems.

## 4. Diskussion

### 4.1. Huvudresultaten

Studien stärkte hypotesen om beståndsföryngringens påverkan på markberedningsresultatet. Andelen underkända markberedningspunkter ökade med ett ökat antal beståndsföryngrade stammar per hektar för högläggning. För harvning var det endast grövre stammar som påverkade andelen underkända punkter. Resultatet av studien indikerar att högläggning som markberedningsmetod är mer känslig för beståndsföryngring än vad harvning är (Figur 3, Tabell 7). För högläggning ökar andelen underkända markberedningspunkter med ett ökat stamantal. Höjden på beståndsföryngringen visade sig ha en betydelse för resultatet. Stammar  $\geq 1,3$  m hade inte en högre andel underkända markberedningspunkter, däremot hade stammar  $\geq 1,3$  m en högre korrelation mot andelen underkända markberedningspunkter. Kombinationen av beståndsföryngringen och blockkvoten visade ett högt samband med andelen underkända punkter (Figur 6). Något som är logiskt, både beståndsföryngringen och blockkvoten hade en signifikant påverkan på resultatet och tillsammans förstärktes sambandet med andelen underkända punkter.

För harvning visade vare sig mängden beståndsföryngrade stammar eller höjden ha någon signifikant påverkan på markberedningsresultatet. Däremot hade grövre stammar  $\geq 2$  cm vid stubbskåret en signifikant påverkan på andelen underkända markberedningspunkter (Figur 9). Av de övriga terrängfaktorerna var det endast blockkvoten som påverkade harvningsresultatet. Markberedningspunkterna av klass 5 minskade (Figur 10), andelen underkända punkter hade för harvning ingen korrelation med blockkvoten.

### 4.2. Jämförelse med befintlig kunskap

Att högläggning har en lägre andel godkända markberedningspunkter än harvning framgår av tidigare studier (Larsson 2011; Wikner 2014). I Larsson (2011) lyfts trädrester, stubbar och blockigheten fram som faktorer som har en negativ

inverkan på andelen godkända punkter. Resultatet från denna studie bekräftar att blockigheten har en påverkan på markberedningsresultatet.

Andersson och Brunberg (1991) framhåller att stubbar och trädrester har en inverkan på antalet skapade markberedningspunkter för högläggning. Föreliggande studie visar dock ingen signifikant påverkan på antalet stubbar och antalet skapade markberedningspunkter. Tvärtemot logiken visar resultatet av denna studie att andelen underkända markberedningspunkter minskar med ett ökat stubbantal, något som kan förklaras med att stubbantalet ökade med minskande blockkvot. Ingen av de tidigare berörda studierna påpekar att beståndsföryngringen skulle ha någon inverkan på markberedningens kvalité. Beståndsföryngringens påverkan har tidigare förbisetts eller räknats in i kategorin trädrester och stubbar (T), vilket görs i Bergs (1982) terrängtypschema. Markberedningens effekter bidrar till att öka överlevnaden hos föryngringen, vilket också påvisas i Strömberg et al. (2001). Men vid ett allt för högt stamantal kan de positiva effekterna av högläggningen utebli till följd av en hög andel underkända markberedningspunkter.

Att nuvärdet var negativt för T20 vid en kalkylränta på 3 % påvisas även av Krekula et al. (2018). Antalet planterade plantor har en stor betydelse för nuvärdet då det är en investering som görs tidigt i investeringskalkylen.

Täta ansamlingar av beståndsföryngring/underväxt utgör skydd och boplatser till djuren i skogen. Riktlinjerna från FSC påpekar att underväxtröjning bör endast utföras där det blir problem för efterföljande skötsel (FSC 2020). En röjning bör därför inte utföras allt för omfattande utan endast på större områden där stamtätheten är för hög och riskerar att försämra kommande föryngring.

### 4.3. Ny kunskap från studien

Studien indikerar att beståndsföryngrade stammar har en inverkan på markberedningsresultatet för högläggning. Redan vid 2000 stammar/ha var andelen underkända markberedningspunkter 20% av det totala antalet markberedningspunkter (Figur 3). Söderbäck (2012) visar på att vitaliteten hos plantor som planteras i underkända markberedningspunkter har en försämrad vitalitet än plantor som planteras i godkända punkter. Resultatet av denna studien visade även att andelen markberedningspunkter av klass 5 minskade med ett ökat antal stammar (Tabell 6), vilket är den planteringspunkt som har den högsta tillväxten enligt Karlstrand (2019).

Kostnaden för markberedning och plantering är en stor investering som görs i början på omloppstiden. För att erhålla ett så högt nuvärde som möjligt samt dra nytta av de fördelar förädlade plantor har, bör man se över rekommendationerna för underväxtröjning vid slutavverkning. Resultatet av denna studie visar att det totala

nuvärdet blev lägre för bestånd med ett högt antal beståndsföryngrade stammar (>4000 /ha; Figur 10).

#### 4.4. Styrkor och svagheter

Datainsamlingen utfördes av författaren till studien vilket bidrar till att inventeringarna av provytorna utfördes på liknande sätt. Markberedningen utfördes av två olika marskinlag, det ena laget harvade och det andra höglade. Maskinlagen blev tillsagda att utföra markberedningen som vanligt och ingen hänsyn skulle lämnas till snitslarna som markerade provytorna. De 6 provytorna som togs bort från studien var ytor som ej kunde hittas igen och ytor som inte hade blivit markberedda i sin helhet. Anledningen till att vissa ytor inte blev fullt markberedda kan vara att dungarna av beståndsföryngring kan ha sett allt för hindrande ut för maskinföraren.

Trakternas fysikaliska egenskaper försöktes begränsas till likvärdiga men valet av trakter blev till viss del tvingande då målet var att hitta trakter med mycket beståndsföryngring. Provyternas placering på trakterna var subjektivt utplacerade, vilket kan ses som en svaghet i studien. Men detta var tvingande då tätare dungar av beståndsföryngring endast uppträdde sporadisk på trakterna och var ett måste att få med för att täcka in ett bredare spektrum på antalet beståndsföryngrade stammar/ha.

Den ekonomiska analysen i studien är simulerade scenarion och vissa antaganden var tvungna att göras. Resultatet av Heureka speglar endast mortaliteten för andelen underkända markberedningspunkter. De övriga klasserna av markberedningspunkter togs ej med i analysen, samt att beståndsföryngringen som också kan utgöra en del av föryngringen ej räknades med. Detta kan ses som en svaghet, men dessa antaganden gjorde jag för att visa på inoptimalförlusten som uppstår när investeringen i förädlade plantor inte utvecklas som tänkt.

#### 4.5. Vidare studier

Ett digitalt hjälpmedel för att enkelt lokalisera större ansamlingar av beståndsföryngring hade varit bra. Detta hjälpmedel skulle troligen förhindra att trakten städas på underväxt vid eventuell underväxtröjning. Sådana städningar är emellertid inte önskvärda då detta skulle strida mot FSCs (2020) riktlinjer för underväxtröjning. Enligt mina observationer uppträder tätningarna i svackor och fuktigare partier. Därmed skulle det vara intressant med en studie som görs för att undersöka om laserdata och markfuktighetskartan kan användas för att lokalisera ytor med tätare beståndsföryngring och därmed förenkla avverkningsplaneringen.

Bortsättningsunderlaget angående hindrande underväxt som används av SCA är minst 15 år gammalt och kan behövas uppdateras. Skördaraggregaten har utvecklats med flergrepp för att hantera klenare stammar och är idag mer driftssäkra, och den prestationssänkning som tidigare studier påvisar kan ha minskat i och med teknikutvecklingen.

## 4.6. Slutsatser

- Andelen underkända markberedningspunkter ökar med antalet underväxtstammar för högläggning. För harvning ses emellertid ingen signifikant påverkan av antalet underväxtstammar på markberedningsresultatet.
- Om ingen underväxtröjning/hyggesrensning utförs bör man överväga att harva hyggen med ett högt antal beståndsföryngrade stammar. Detta för att erhålla en hög andel godkända markberedningspunkter.
- Markberedningsresultatet vid harvning och högläggning påverkas negativt med stigande blockkvot.
- Kombinationen av ökande blockkvot och antalet beståndsföryngrade stammar påverkar höglägningsresultatet negativt.
- Simuleringar i Heureka visar att nuvärdet är negativt för standardmässigt trakthyggesbruk på ståndortsindex T20. Samtidigt visar Heureka-simuleringarna att kommande omloppstider kan påverkas negativt av en utebliven underväxtröjning vid höga stamantal (>4000 beståndsföryngrade stammar/ha) i slutavverkning.

## 5. Referenser

- Agestam, E. (2015). *Gallring*. (skogsskötselserien, 7). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselns grunder och samband*. (Skogsskötselserien, 1). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Andersson, G. & Brunberg, T. (1991). *Underlag för produktionsnormer för buren högläggare*. (Redogörelse; 4) Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Berg, S. (1982). *Terrängtypsschema för skogsarbete*. Gävle: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Skogforsk.
- Berube, M.-A. (2011). *Site conditions affecting the treatment quality of scarifiers*. (Advantage Report, 13). Eastern Region: FPInnovations.
- Bracke Forest (2020). *Bracke Forest Produkter*.  
<https://www.brackeforest.com/sv/produkter> [2021-03-21]
- Djupström, L., Gålnander, I., Bergkvist, I. & Johansson, F. (2020). *Handledning för god skötsel och miljöhänsyn vid markberedning och föryngring*. Uppsala: Skogforsk.
- Egnell, G., Nohrstedt, H., Weslien, J., Westling, O. & Örlander, G. (1998). *Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation*. (Rapport 1998). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Eliasson, E. & Johannesson, T. (2009). *Underväxtens påverkan på bränsleanpassad slutavverkning*. (Resultat, 17). Uppsala: Skogforsk.
- Ersson, B.T., Cormier, D., St-Amour, M. & Guay, J. (2017). *The impact of disc settings and slash characteristics on the Bracke three-row disc trencher's performance*. International Journal of Forest Engineering. 28:(1), 1-9.
- Frank, N. (2006). *Underröjning i förstagallring*. (Examensarbete 2006:64).  
Skinnskatteberg: Institutionen för skogens produkter och marknader, SLU.
- Frölen, D. (2019). *Markberedarnas tekniska utveckling*. (Examensarbete 2019:6). Umeå: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, SLU.
- FSC (2020). *FSC-standard för skogsbruk i Sverige*. (2019:3) Forest stewardship council.
- Hallsby, G. (2013). *Plantering av barrträd*. (Skogsskötselserien; 3), Jönköping: Skogsstyrelsen
- Heureka (2019). *Help*. Version: 2.17.  
<https://www.heurekaslu.se/help/index.html?introduktion.htm>
- Hjelm, K., Nilsson, U., Johansson, U. & Nordin, P. (2019). *Effects of mechanical site preparation and slash removal on long-term productivity of conifer plantations in Sweden*. Canadian Journal of Forest Research. 49(10), 1311-1319.
- Hjelm, K., Nilsson, U. & Örlander, G. (2012). *A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce*. Forestry. 86(1), 91-98.
- von Hofsten, H. (1993). *Donaren 380 MIDAS i grönnis*. (Resultat, 5). Skogforsk.
- Håkansson, M. (2000). *Hyggesrensning*. Stockholm: Sveriges skogsvårdsförbund.  
<https://www.skogskunskap.se/ordlista/h/hyggesrensning/> [2020-03-21]
- Håkansson, M. & Larsson, M. (1998). *Skogsbrukets ekonomi*. 1. uppl. Stockholm: Natur och kultur.
- Karlsson, C., Sikström, U., Örlander, G., Hannerz, M., Hånell, B. & Fries, C. (2017). *Naturlig föryngring av tall och gran*. 2. uppl. (Skogsskötselserien; 4) Jönköping: Skogsstyrelsen.

- Karlstrand, A. (2019). *Samband mellan föryngringsresultatet år 5 och kvalitetsklassning av markberedning och planteringsåtgärder på SCA:s fasta provytor i norra Sverige*. (Examensarbete 2019) Umeå: Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU.
- Krekula, B., Bergquist, J., Fries, C., Gällerspång, J., Reisek, J., Ringagård, J., Sollander, E., Svensson, L. & Wågström, K. (2018). *Föreskrifter för anläggning av skog*. (Rapport, 2018:13). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Kärhä, K. (2006). *Profitability of pre-clearance in first-thinning Scots pine stands*. Scandinavian Forest Economics: Proceedings of the Biennial Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics. 2006(41), 137-146.
- Larsson, A. (2011). *Val av markbehandlingsmetod inom Sveaskogs innehav i norra Sverige*. (Examensarbete 2011:9). Umeå: Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU.
- Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C. (2014). *Slutavverkning*. (Skogsskötselserien, 20). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Magnusson, T. (2009). *Skogsbruk, mark och vatten*. (Skogsskötselserien; 13) Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Mattsson, S. & Bergsten, U. (2003). *Pinus contorta growth in northern Sweden as affected by soil scarification*. New forests. 26(3), 217-231.
- Nordlander, G., Örlander, G., Petersson, M. & Hellqvist, C. (2006). *Skogsskötselåtgärder mot snytbagge*. (1:3), SLU, Växjö Universitet.
- Petersson, M., Örlander, G. & Nordlander, G. (2005). *Soil features affecting damage to conifer seedlings by pine weevil Hylobius abietis*. Forestry. 78(1), 83-92.
- Petersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. (2012). *Röjning*. (Skogsskötselserien; 6) Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Rülcker, C. & Forshed, N. (1991). *Markberedning för plantering*. Oskarshamn: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Saarinén, V.-M. (2006). *The effects of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations preliminary results*. Biomass and Bioenergy. (30), 349–356.
- SCA (2006). *Prestationsprognos – bortsättning*. Sundsvall: SCA
- SCA (2016). *Så här gör du egenkontroll av markberedning*. Sundsvall: SCA.
- SCA (2018). *Utvärdering enligt svenska FSC®-standardens kriterie 8.2*. [https://www.sca.com/globalassets/sca/var-skog/certifierat-skogsbruk/fsc/sca\\_skog\\_utvardering\\_fsc\\_kriterie-8\\_2--2018.pdf](https://www.sca.com/globalassets/sca/var-skog/certifierat-skogsbruk/fsc/sca_skog_utvardering_fsc_kriterie-8_2--2018.pdf) [2020-12-21]
- Skogelid, O. (2019). *Underväxtens påverkan på produktiviteten och gallringskvaliteten hos två gallringsskördare*. (Examensarbete 2019:2) Skinnskatteberg: Skogsmästarskolan.
- Skogskunskap (2016). *Kostnader och prestationer i röjning*. <https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/ekonomi/kostnader-och-prestationer-i-rojning/prestationer-i-rojning-fran-sla/> [2021-01-24]
- Skogsstyrelsen (2019). *Skogsstyrelsens statistikdatabas*. [2019-03-19]
- Strömberg, C., Claesson, S., Thuresson, T. & Örlander, G. (2001). *Föryngring av skog, metoder, åtgärder och resultat*. (Rapport, 8D). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Ståhl, P.H. & Bergh, J. (2013). *Produktionsöjande åtgärder*. (Skogsskötselserien; 16) Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Söderbäck, E. (2012). *Utvärdering av markberedning och plantering på SCA:s mark i Norrland 1998-2001 Föryngringsresultat efter 10 år*. (Examensarbete 2012:17). Umeå: Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU.
- Wiklund, H. (2019). *Effekten av underväxtröjning och gallringsintensitet på skördarens effektivitet i förstagallring*. (Examensarbete 2019:3). Umeå: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, SLU.
- Wikner, F. (2014). *Hur påverkas markberedningsresultatet vid harvning och högläggning av faktorer som lutning, ytstruktur och markfuktighet?*

(Examensarbete 2015) Växjö: Institutionen för Skogs och träteknik,  
Linneuniversitetet.  
Örlander, G., Egnell, G. & Albrektson, A. (1996). *Long-term effects of site preparation  
on growth in Scots pine*. Forest Ecology and Management. (86), 27–37.



Bilaga 1

Formulär för inventering av  
beståndsför yngning.

Formulär för  
terrängegenskaperna.

Formulär för  
markberedningspunkterna.

Tall höjd (dm)					Gran höjd (dm)					Löv höjd (dm)					
Py	T 0-4	T 4-8	T 8-13	T 13-18	T 18-upp	G 0-4	G 4-8	G 8-13	G 13-18	G 18-upp	L 0-4	L 4-8	L 8-13	L 13-18	L 18-upp
	Tall Diameter (cm)					Gran Dia (cm)					Löv dia (cm)				
	T 0-2 cm	T 2-4cm	T 4-6 cm	T 6-8 cm	T 8-10 cm	G 0-2 cm	G 2-4cm	G 4-6 cm	G 6-8 cm	G 8-10 cm	L 0-2 cm	L 2-4cm	L 4-6 cm	L 6-8 cm	L 8-10 cm

Markens bearbetningsmotstånd				Blockkvot		Stubbar				Grot diameter				Täckningsgrad	Tjocklek på grot
				Nedstick	Nedstick hinder	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	>40 cm	2 cm	3-10 cm	11-20 cm	21-30 cm	%	cm
Provy	Fraktionsjord	Mjåla	Kohesion	Markveg											

Torr och frisk mark				Fuktig mark			
Provyta	5	4	3	5	4	Torv 3	Humus 3
							Ej godkänd

## Bilaga 2

Klasser för markvegetation, enligt (Berg 1982).

<b>Markvegetation</b>	<b>Skikttjocklek (cm)</b>
Dominerande lavvegetation	-
Dominerande mossvegetation	<5
Dominerande moss- och risvegetation	5–15
Dominerande moss- och risvegetation	15–30

Parametrar för jordartsbestämning, enligt (Berg 1982).

<b>Jordart</b>	<b>Fraktion</b>	<b>Vattenförhållande</b>
Friktionsjordar	Grus, sand, grovmo.	-
Mjälamarker	Mjäla	Väldränerad, högt grundvatten.
Kohesionsjordar	Lera, gyttja, dy.	Starkt yttorra, sommartorra, vattenmättade.

## Bilaga 3

Indata för bestånden i Heureka.

<b>Bredd-grad</b>	66	<b>Jorddjup</b>	Mäktigt	<b>Jordart</b>	Sandig-moig-morän
<b>Höh (m)</b>	66	<b>Typ av yta</b>	Ungskog	<b>Rörligt markvatten</b>	Kortare-perioder
<b>Län</b>	BD	<b>Ålder-spridning</b>	0	<b>Huggningsklass</b>	K1
<b>Trädslag</b>	Tall	<b>Klimatzon</b>	Other	<b>Huggningsklass -typ</b>	SKS
<b>SIS (m)</b>	20-24	<b>Vegetations-typ</b>	Lingon		
<b>Lutning</b>	0-10%	<b>Bottenskikt</b>	Frisk-mossa		
<b>Sluttning s-riktning</b>	Other	<b>Markfuktighet</b>	Frisk		

Rekommenderat plantantal enligt Heureka.

<b>SI</b>	<b>Rekommenderat plantantal</b>	<b>Planteringskostnad</b>
<b>T20</b>	2300/ha	5750 kr/ha
<b>T24</b>	2600/ha	6500 kr /ha

## Antalet planterade plantor för respektive intervall med beståndsförnygring.

Antal beståndsförnygrade stammar/ha	Andel underkända markberedningspunkter	Plantantal T20	Plantantal T24
0	0,1338	2198	2484
1000	0,1948	2151	2431
2000	0,2558	2104	2379
3000	0,3168	2057	2326
4000	0,3778	2011	2273
5000	0,4388	1964	2220

Indata till kostnadskalkyl för skördare, medelstam och stamtäthet kommer från Heureka simuleringarna.

Medelstam	0,21 (T20) och 0,29 (T24)
Ytstruktur	2
Stamtäthet	1046/ha (T20) och 965 (T24)
Kalkylpris	1350 kr/G0-h
Antal sortiment	4
Stråklängd	100 m
Depåavstånd	700 m
Övriga korrigeringar	-

# Bilaga 4

Kostnadsmatris för skördare (SCA 2006)

A. GRUNDTABELL, prestation träd / G <sub>0</sub> -h																		
1. M <sup>3</sup> fub/träd	.04	.06	.08	.10	.12	.14	.16	.18	.20	.22	.24	.26	.28	.30	Medelstam			
2. Slutavverkning	170	158	148	140	134	128	124	120	116	113	110	107	104	102	0,25			
1. M <sup>3</sup> fub/träd	.32	.34	.38	.42	.46	.50	.54	.58	.62	.66	.70	.74	.78	.82	Träd/timme			
2. Slutavverkning	100	97	94	90	87	84	81	79	76	74	72	70	68	67	109			
C. SUMMA KORREKTION					B. KORREKTIONER, avdrag i %										Procent			
8,00%					1. Terrängfaktorer										Sätt in ytstr. och lutning i två siffror, t.ex <b>23</b> för ytstr. <b>2</b> och lutning <b>3</b>			
					Ytstruktur					Lutning, klass								
D. BERÄKNAD PRESTATION					klass		1	2	3	4								
					Slutavverkning													
					1	0	1	2	3									
					2	1	2	3	6									
					3	2	3	6	9									
E. ACKORDSPRIS					4	3	6	9	12							2,00%		
					Stamtäthet, uttag										Stamtäthet			
Kalkylpris 1350 kr/G <sub>0</sub> -h					Träd/ha		100	200	400	600	800	1 000+					800	
					Slutavverkning		30	20	10	5	2	0						
53,85 kr/m <sup>3</sup> fub					3. Underväxt										2,00%			
					Röjstam/ha										0	2 000	4 000	6 000
F. ÖVRIGA ERSÄTTNINGAR					Korr %		0	5	10	15	20	25	30					
Beskrivning					4. Svåra träd										Svåra träd			
					Andel %		0	5	10	15	20	25	30					
					Korr %		0	2	4	6	8	10	12					
					5. Snöhinder										Snöhinder			
					Klass	Ej för-svårande	För-svårande		Mycket försvårande							antal procent		
					Korr. %		0	1 - 5		6 - 10								
G. TOTALT ACKORDSPRIS																		
53,85 kr/m <sup>3</sup> fub																		
ANTECKNINGAR					7. Maskintypskorrektion Stor EGS										<input type="checkbox"/> Stor EGS			
Underväxtröjning, break-even:					M <sup>3</sup> fub/träd										.08 .10 .12 .14			
kr/ha					Korr %										8 4 2 0			
(givet oförändrad medelstam)					8. Sortering										Ant. sortiment			
					Antal sortgrupper		1	2	3	4	5	6					4	
					Slutavverkning		-2	-1	0	1	2	3						
					9. Stråklängd										1,00%			
					Stråklängd i m				150	100	50	25					Stråklängd	
					Korr %				0	2	5	8					100	
																	2,00%	
					10. Avstånd till depå										Depåavstånd			
					Avstånd till depå i m				500	700	900	1100					700	
					Korr %				0	1	2	3					1,00%	
					11. Övriga korrigeringsfaktorer										Antal procent			